

PARAMETRES CONTROLANT LA GEOMETRIE DES BASSINS D'AVANT-CHAINE DANS LES CHAINES ALPINES

Memoria di G. MASCLE (1), G. HERAIL (2) & B. DELCAILLAU (2)

INDICE

Résumé	Pag. 19
Abstract	» 19
Riassunto	» 19
1. CARACTERES GENERAUX DES BASSINS D'AVANT-CHAINE	» 20
1.1. Situation	» 20
1.2. Structure	» 20
1.3. Evolution	» 20
2. EXEMPLES DE BASSINS D'AVANT-CHAINE	» 21
2.1. Le bassin Siwaliks-Gange	» 21
2.2. Le bassin du bas-Indus	» 24
2.3. Le bassin du Bengale	» 26
2.4. Le bassin subandin	» 28
2.5. Le bassin sicilien	» 28
3. PARAMETRES REGISSANT L'EVOLUTION DES BASSINS D'AVANT-CHAINE	» 30
BIBLIOGRAPHIE	» 31

RÉSUMÉ

Les bassins d'avant-chaîne s'édifient au front des chaînes à la suite d'une flexion de la lithosphère continentale.

L'étude comparée de différents bassins permet de mettre en évidence les paramètres qui influent très étroitement sur le résultat:

1) l'orientation des frontières du bassin par rapport à la direction de transport qui détermine tantôt une structure «cylindrique» homogène tout au long du bassin, tantôt une série de bassins losangiques en relais;

2) l'orientation de linéaments hérités qui influe particulièrement sur le style des structures: chevauchements et édification d'un prisme tectonique, plissement et coulissement, plissement et décollement;

(1) Université S.T.M. de Grenoble et CNRS UA Géologie Alpine et GRECO Himalaya, Contribution n. 785.

(2) Université de Toulouse Le Mirail et CNRS CIMA et GRECO Himalaya.

3) La nature et l'épaisseur de la croûte dont résultent d'une part la plus ou moins grande facilité à entrer en subduction ou à se cisailer, d'autre part l'ampleur de l'orogène;

4) la nature et l'épaisseur de la couverture sédimentaire.

ABSTRACT

The foreland basins are lying near the front of mountain ranges as a result of bending of the continental lithosphere.

A comparative study of various foreland basins allow us to emphasize on some characteristic factors:

1) the relative strike of the basin versus the tectonic transport which determinates either a «cylindrical» homogeneous basin or a succession of rhomboidal en relais basins;

2) the strike of inherited lineaments which strongly influences the structural style: thrusting and formation of a tectonic wedge; folding and wrenching; folding and decollement;

3) the nature and thickness of the crust which controls first the possibility to become subducting or shearing, or second the dimension of the orogen;

4) the nature and thickness of the sedimentary cover.

RIASSUNTO

I bacini di avana fossa vengono formati ai piedi delle catene montuose in seguito a una flessura della litosfera continentale.

Uno studio comparativo di diversi esempi di bacini attualmente attivi permette di caratterizzare alcuni parametri che sembrano controllare la geometria e l'evoluzione di tali bacini:

1) l'orientamento dei confini del bacino in confronto alla direzione di trasporto tettonico determina sia una struttura omogenea «cilindrica» sull'intero bacino, sia una serie di bacini losangici *en relais*;

2) l'andamento di linéamenti ereditati controlla strettamente lo stile tettonico: accavallamenti e edifi-

ORSTOM Fonds Documentaire

N° : 34.284 ex 1

Cote : B M

p 38

20 NOV 1987

cazione di un prisma tettonico; piegamenti e faglie trascorrenti; piegamenti e scollamenti;

3) la natura e lo spessore della crosta controlla da un lato la più o meno grande possibilità di evolvere verso subduzione oceanica oppure continentale e dall'altro l'ampiezza dell'orogene;

4) la natura e lo spessore della copertura sedimentaria.

MOTS-CLES: *Bassins d'avant-chaîne, flexion, lithosphère continentale, Siwaliks-Gange, bas-Indus, bengale, Subandin, Sicilien.*

1. CARACTERES GENERAUX DES BASSINS D'AVANT-CHAÎNE

Les bassins d'avant-chaîne sont définis par un certain nombre de caractéristiques relatives à leur position, leur structure géologique et géophysique, leur évolution (ALLEN *et alii*, 1986).

1.1. SITUATION

Les bassins d'avant-chaîne sont situés à l'avant des chaînes plissées. Vers l'extérieur, ils s'appuient sur l'avant-pays, domaine généralement peu déformé, craton ou plate-forme, où la déformation contemporaine de la genèse du bassin ne s'exprime que par de rares structures en extension. Dans les rares cas où existe une déformation importante dans l'avant pays, celle-ci est nettement antérieure à la naissance du bassin avec laquelle elle ne présente pas de lien.

Relativement à l'état de la croûte deux types de situation se présentent: soit le bassin est situé en pleine croûte continentale, à l'avant d'une chaîne intra ou inter-continente, en contexte de collision entretenue (Alpes, Andes, Himalaya, Rocheuses, Tsaidam), soit le bassin est situé sur une ancienne marge, une ancienne croûte continentale amincie, en contexte de collision simple (Apennin, Taiwan, Tell, Timor).

1.2. STRUCTURE

La structure des bassins d'avant-pays est toujours dissymétrique. Géologiquement et morphologiquement existent deux bordures différentes. La bordure interne, située du côté de la chaîne plissée, est caractérisée par l'exi-

stence de structures compressives (plis et chevauchements) impliquant le plus souvent le chevauchement du bassin par la chaîne. La bordure externe, située du côté de l'avant-pays ne montre pas de déformation. De même le remplissage sédimentaire est dissymétrique, présentant l'aspect d'un coin, s'amincissant progressivement vers l'avant-pays. L'organisation interne du coin sédimentaire montre, elle-même, une dissymétrie aux différentes échelles; celle-ci se traduit par une tendance à la progradation vers l'extérieur des corps sédimentaires élémentaires et par une granodécroissance latérale vers l'extérieur.

Du point de vue géophysique, ces bassins sont caractérisés par une anomalie de Bouguer négative située très près de la limite interne du bassin (ALLEN *et alii*, 1986) et, parfois, par une anomalie positive symétrique, située dans la chaîne plissée. Ce dispositif induit un important gradient au niveau de la limite interne du bassin, alors que du côté de l'avant-pays le gradient est faible. L'anomalie négative est soit mise en relation avec la présence d'un important prisme de sédiments légers constituant le remplissage du bassin, soit avec la flexion de la lithosphère.

1.3. EVOLUTION

L'évolution des bassins d'avant-chaîne est caractérisée principalement par une grande mobilité. Celle-ci se traduit par la migration vers l'extérieur de la limite interne du bassin (ALLEN *et alii*, 1986; MASCLE *et alii*, 1986; RICCI-LUCCHI, 1986), dont souvent les parties les plus internes sont progressivement incorporées à la chaîne, par la migration corrélative de la déformation compressive en direction de l'extérieur, et par la migration, également corrélative et vers l'extérieur, de la position des dépo-centres. Une conséquence de ce dernier phénomène apparaît dans l'analyse de la subsidence. Au niveau du dépo-centre actif, la courbe de subsidence, ou celle d'épaississement sédimentaire, montre un profil uniformément accéléré (BURBANK *et alii*, 1986; CROSS, 1986; RICCI LUCCHI, 1986), indiquant donc que la vitesse de subsidence croît avec le temps. Cependant cette croissance est brutalement arrêtée lorsque migre le dépo-centre et que l'emplacement de l'ancien dépo-centre est incorporé à la chaîne sous forme d'écaïlle tectonique.

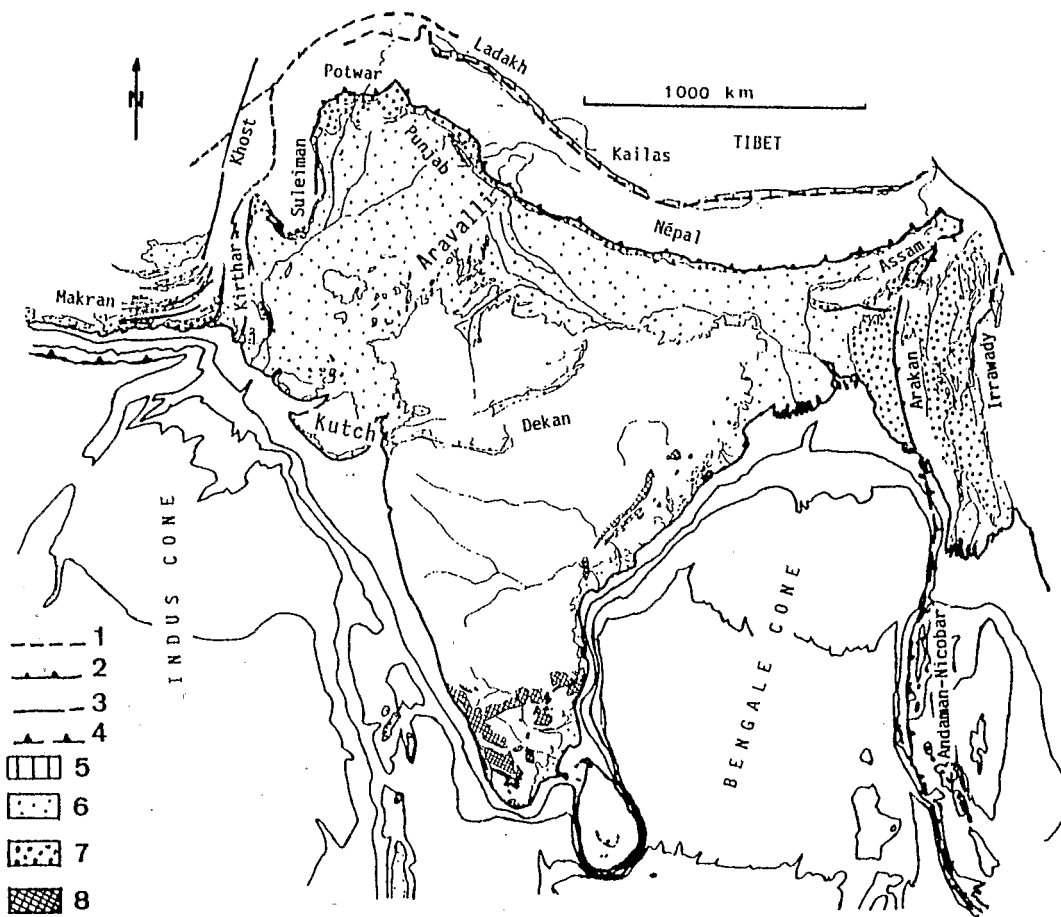


Fig. 1 - Le bassin d'avant chaîne himalayenne: 1) Suture Indus Yalu-Tsang-Po et prolongements; 2) zone de chevauchement bordier himalayenne (MBT); 3) fractures majeures; 4) subductions; 5) Crétacé à Néogène de l'Indus; 6) Quaternaire; 7) série Siwaliks; 8) complexes charnockitiques archéens.

The Himalayan foreland basin: 1) Indus Yalu-Tsang-Po suture zone and equivalents; 2) Himalayan main boundary thrust zone (MBT); 3) main fractures; 4) subductions; 5) Cretaceous to Neogene of the Indus; 6) Quaternary; 7) Siwaliks; 8) Archean charnockitic belts.

2. EXEMPLE DE BASSINS D'AVANT-CHAINE

L'analyse de quelques exemples de bassins d'avant-chaîne permet de définir un certain nombre des paramètres qui contrôlent leur géométrie et leur évolution.

2.1. LE BASSIN SIWALIKS-GANGE

Ce bassin est situé au front de l'Himalaya (fig. 1). Il forme un arc de près de 2 500 km de longueur entre le Punjab à l'Ouest et l'Assam à l'Est. Sauf aux extrémités, sa largeur est proche de 300 km. Sa bordure inter-

ne est caractérisée par le chevauchement de la chaîne himalayenne en direction du SSW (GANSSEY, 1964). Une série de lanières tectoniques, séparées par des surfaces de chevauchements, et constituées de formations continentales d'âge néogène, voire paléogène, à quaternaire forme une bande large parfois de 50 km séparant le bassin non déformé de la chaîne elle-même; cette bande forme la chaîne des Siwaliks ou Churia (HERAIL & MASCLE, 1980; STOCKLIN, 1980; VALDIYA, 1980, 1981; MASCLE & HERAIL, 1982; BURBANK *et alii*, 1986; MASCLE *et alii*, 1986; DELCAILLAU, 1987). Les écaillles tectoniques successives sont constituées de terrains de plus en plus

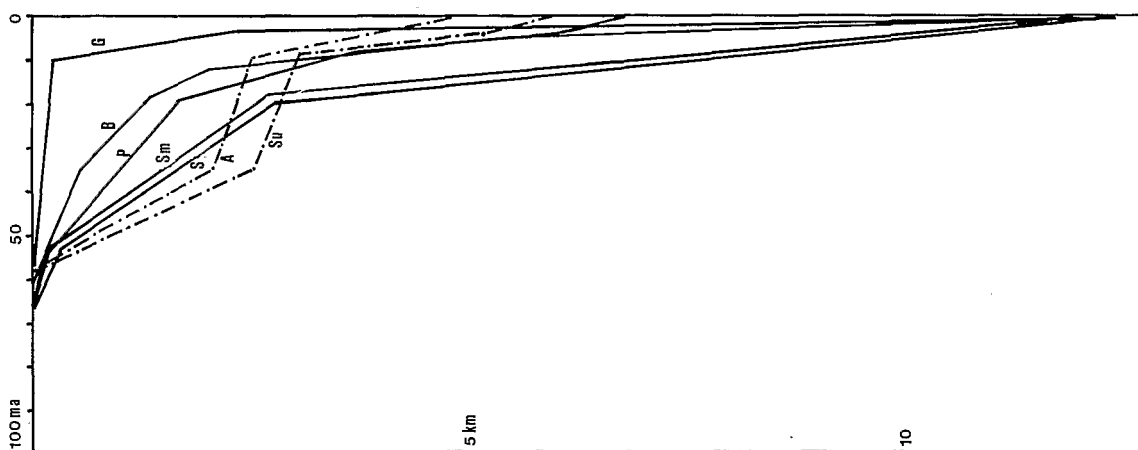


Fig. 2 - Vitesses de sédimentation dans le bassin d'avant-chaîne himalayen: 1) Exemples dans le bassin en collision frontale Siwaliks Gange. S: Siwaliks inférieur du Népal; Sm: Siwaliks moyens du Népal; G: bassin Gangétique au Sud du Népal; P: bassin au Sud du Plateau de Potwar (Punjab); B: Bengale à l'Ouest de la chaîne d'Arakan. 2) Exemples dans les zones en collision oblique: A: Assam; Su: Suleiman.

Sedimentary velocity in the himalayan foreland basin: 1) Examples in the frontal collisional Siwaliks Ganga belt. Si: lower Siwaliks of Nepal; Sm: middle Siwaliks of Nepal; G: gangetic quaternary of South Nepal; P: South of Potwar Plateau (Punjab); B: Bengal West of Arakan. 2) Examples in wrench collision; A: Assam; Su: Suleiman.

jeunes en direction de l'extérieur; les chevauchements successifs (Main Boundary Thrust = MBT, Main Dun Thrust = MDT, Main Siwaliks Thrust = MST) sont également de plus en plus jeunes vers l'extérieur. L'ensemble constitue un système mis en place progressivement par déplacement d'un front de déformation vers le Sud et incorporation de nouvelles lanières tectoniques. Il est assimilé à une «piggy back thrust sequence».

Les sédiments constitutifs des séries Siwaliks correspondent à des cônes de déjection passant vers l'aval à des dépôts de cours d'eau à chenaux tressés et anastomosés, puis méandriformes circulant dans des plaines marécageuses, et descendant de reliefs montagneux situés au Nord (ACHARYYA, 1975, 1977; JOHNSON *et alii*, 1979, 1982; TANDON *et alii*, 1984). Ces environnements sédimentaires sont très analogues à ceux que l'on observe actuellement dans la plaine gangétique. Les vitesses d'épaississement sédimentaire varient entre 100 et 500m/Ma (fig. 2). Dans la mesure où les faciès proximaux des cônes torrentiels ne sont pas observés dans l'unité Siwalik la plus interne et où des indices pétroliers sont observés au sein des séries métamorphiques du moyen - pays himalayen, le recouvrement par les séries himalayennes, au niveau du MBT, peut être évalué à un minimum de 30 km. Le raccourcissement propre

du domaine Siwaliks est lui-même de l'ordre de 30 à 60 km (fig. 3).

Au Sud des Siwaliks s'étend la partie non encore déformée du bassin dont le remplissage sédimentaire est assuré par la divagation des rivières issues de la chaîne himalayenne qui balayent largement tout le glacis. Celui-ci constitue un piémont à pente très douce (1/1000) drainé au Sud par la vallée du Gange. Les forages et les données géophysiques montrent que les séries sédimentaires paléogènes à quaternaires progressent vers le Sud sur un substratum composé de séries précambriennes déformées parfois recouvertes d'un manteau de séries non déformées du Précambrien supérieur ou de Gondwana, voire de trapps du Dekan. Au plus épais du bassin, la vitesse d'épaississement sédimentaire peut atteindre 700m/Ma.

L'analyse microstructurale (MASCLE & HERAIL, 1982; DELCAILLAU, 1987) et macrostructurale (fig. 3) au niveau de la bordure interne, ainsi que l'analyse des mécanismes des séismes (SEEBER *et alii*, 1981; BARAZANGI, 1984) montrent que la direction de compression est subperpendiculaire à l'allongement du bassin. Il s'agit donc ici d'un bassin d'avant-chaîne typique, en compression frontale, coincé entre la chaîne himalayenne et l'Inde péninsulaire. Il est installé sur une croûte continentale ancienne épaisse, qui fléchit

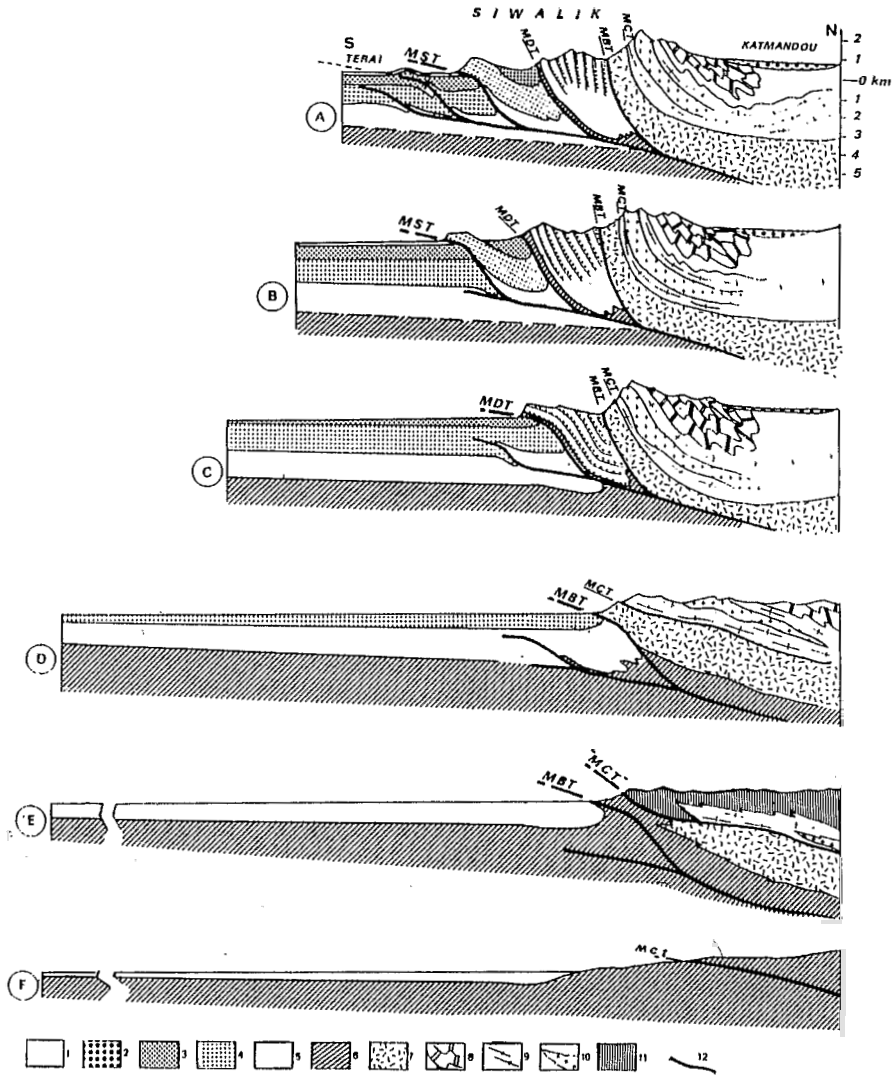


Fig. 3 - Reconstitution de l'évolution géomorphostructurale du front actif Himalayen: A) Etat actuel; B) A la fin de la mise en place des nappes alluviales du Pleistocène moyen: 0,3 Ma; C) Au moment du dépôt des Siwalik Supérieur: 2 Ma; D) Au moment du dépôt des Siwalik Moyen: 8 Ma; E) A la fin du dépôt des Siwalik Inférieur: 10 Ma. F) Au début de la sédimentation des Siwalik Inférieur: 18 Ma. 1) Alluvions récentes de la plaine gangétique; 2) sédiments lacustres du bassin de Kathmandu; 3) Conglomérats Siwalik Supérieur; 4) Siwalik moyen; 5) Siwalik Inférieur; 6) Substratum des Siwalik; 7) nappes inférieures du Moyen Pays; 8) séries sédimentaires du Haut Pays; 9) séries cristallines du Haut Himalaya, aujourd'hui disparues par l'érosion météorique et la tectonique; 12) chevauchement.

Geomorphostructural evolution of the active border of the Himalayan foreland basin: A) Present day situation; B) Situation at the end of Middle Pleistocene 0,3 MY; C) Situation during deposition of Upper Siwaliks 2 MY; D) Situation during the sedimentation of middle Siwaliks 8 MY; E) Situation at the end of lower Siwaliks 10 MY; F) Situation at the beginning of lower Siwaliks sedimentation 18 MY. 1) Recent gangetic quaternary; 2) Lacustrine deposits of the Kathmandu basin; 3) Upper Siwaliks conglomerates; 4) middle Siwaliks; 5) lower Siwaliks; 6) substratum of Siwaliks; 7) Midland lower nappes; 8) High Himalayan sedimentary cover; 9) High Himalayan crystalline; 10) granites; 11) presently eroded High Himalayan sedimentary series; 12) thrusts.

sous le chevauchement himalayen (MOLNAR & TAPPONNIER, 1975; LYON-CAEN & MOLNAR, 1983, 1985; MOLNAR, 1986). Ce régime dure au moins depuis la fin du Paléogène. Actuellement une part importante du matériel issu de l'érosion de la chaîne himalayenne est évacué hors du bassin et constitue les cônes sous-marins profonds de l'Indus et du Gange.

2.2. LE BASSIN DU BAS-INDUS

Ce bassin se développe à l'Ouest du bouclier indien (fig. 1) dans le prolongement du bassin Gange-Siwaliks au delà de la virgation du Punjab. Long d'environ 1000 km et large

de près de 500 km, il se compose en réalité de deux tronçons. Au Nord le pays des 5 rivières (fig. 4) correspond à peu près à la province du Punjab; ce sous-bassin est un vaste losange bordé par le MBT et le chevauchement de Potwar au Nord et au Nord-Est, la chaîne de Suleiman à l'Ouest, la ride d'Aravalli à l'Est, et, au Sud, une zone où apparaissent de larges affleurements de Mésozoïque au Rajasthan. Au Sud, le second sous-bassin (fig. 4) est bordé au Nord par l'arc de Suleiman, à l'Ouest par la chaîne de Kirthar et à l'Est par une ligne d'affleurements mésozoïques rejoignant le Rajasthan au Kutch; plus au Sud, ce bassin se prolonge par le cône sous-marin de

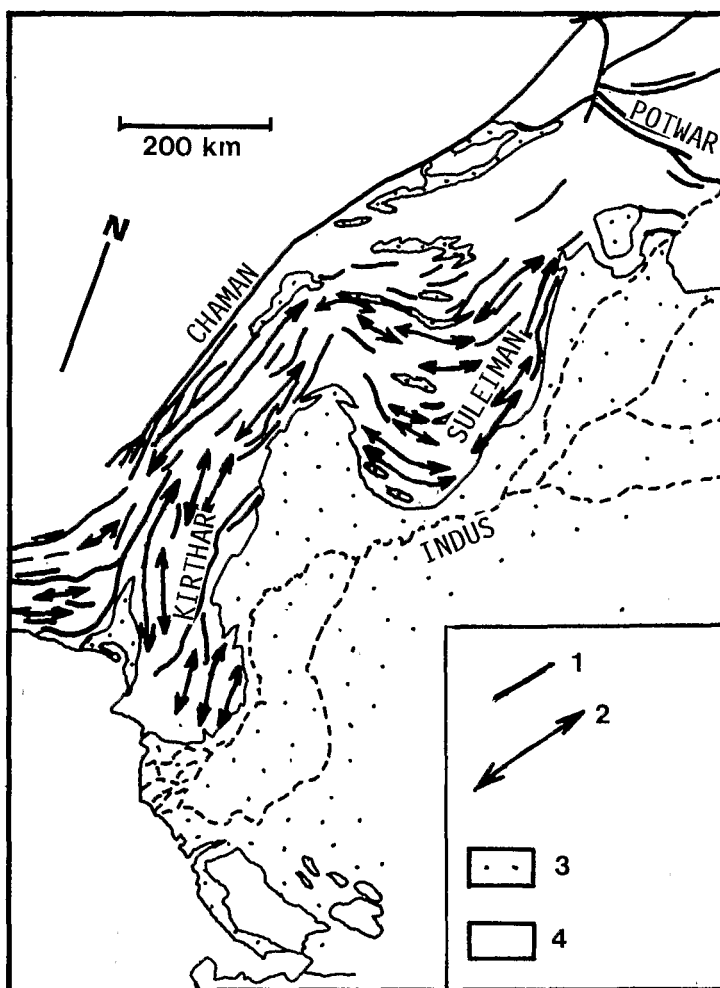


Fig. 4 - Schéma structural du bassin du bas Indus: 1) Fractures principales; 2) plis; 3) Quaternaire du bassin; 4) chaînes plissées.

Structural setting of the Lower Indus basin: 1) main fractures; 2) folds; 3) Quaternary; 4) folded ranges.

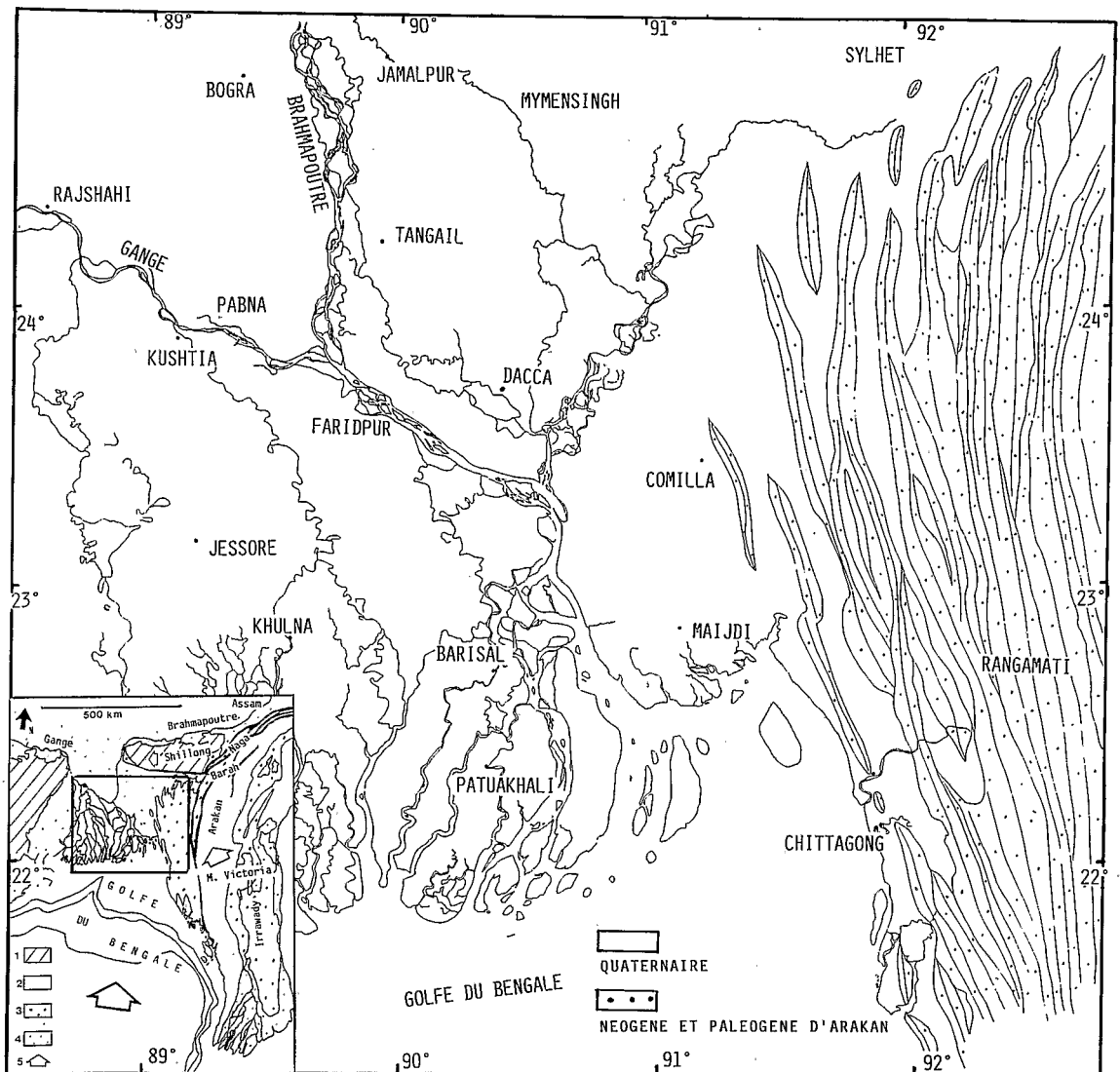


Fig. 5 - Schéma du bassin du Bengale: Cartouche 1) Précambrien du bouclier indien et de Shillong; 2) Mésozoïque-Paléogène; 3) Néogène; 4) Quaternaire; 5) directions de mouvements des différents blocs (Arakan, Shillong, Inde).

Sketch of the Bengal basin: Cartoon 1) Precambrian of Indian shield and Shillong; 2) Mesozoic to Paleogene; 3) Neogene; 4) Quaternary; 5) Motion of the various blocks (Arakan, Shillong, India).

l'Indus. Les deux sous-bassins sont d'axe Nord-Sud; ces axes sont décalés de manière dextre d'environ 200 km. Les chaînes de Sulaiman et Kirthar chevauchent vers l'Est les bassins; elles montrent des plis d'axe Nord-Sud et des décrochements longitudinaux, sauf aux virgations situés au Sud de chacune des chaînes où apparaissent des plis à axes courbes de direction moyenne Est-Ouest

(IBRAHIM SHAH, 1977; MASCLE *et alii*, 1986). L'alimentation détritique est assurée pour une part par le démantèlement des chaînes beloutches et pour l'essentiel par celui de la chaîne himalayenne drainée par l'Indus et ses affluents. Le bassin est installé à proximité d'une ancienne marge de la plaque indienne apparue au Crétacé inférieur (140 Ma) et orientée à peu près Nord-Sud. Celle-ci a don-

né lieu à une collision oblique au cours de laquelle l'ancienne marge afghane, ou béloutche, a été charriée par dessus la marge indienne. Le bassin d'avant-chaîne fonctionne depuis le Paléogène; les vitesses d'épaississement sédimentaire atteignent 200m/Ma, mais surtout montrent des variations brutales dans toutes les directions et également dans le temps, donnant lieu à des courbes en escalier (fig. 2). Cette disposition suggère une migration anarchique des dépo-centres. Actuellement le bassin est situé sur une zone de coulissement sénestre assurant la transformation du raccourcissement Inde-Eurasie depuis le front himalayen jusqu'à la subduction du Makran. Il est donc à peu près parallèle à la direction de déplacement de la plaque indienne. Cette disposition explique la forme en baïonnette de sa limite interne et les déplacements irréguliers des dépo-centres.

Il s'agit ici d'un bassin d'avant-chaîne en transpression ou transcollision, installé sur une ancienne marge donc sur une croûte amincie puis réépaissie.

2.3. LE BASSIN DU BENGALE

Ce bassin est situé en symétrie du pré-

cèdent à l'Est du bouclier indien. De forme presque carrée et large de 500 km pour la partie émergée, ce bassin représente en fait l'apex de l'immense cône sous-marin du Bengale dont l'alimentation détritique provient essentiellement du démantèlement de la chaîne himalayenne drainée par le Gange et ses affluents et la Yalu-Tsang Po-Brahmapoutre. Il est installé entre la marge passive est-indienne, née au Campanien (85 MA), orientée NNE-SSW, et la marge active d'Andaman-Noicobar, orientée Nord-Sud et qui prolonge la subduction indonésienne. La limite nord du bassin est constituée par le système de fractures sénestres bordant au Sud le bloc précambrien de Shillong. La bordure active est représentée par le chevauchement vers l'Ouest de la chaîne d'Arakan-Chin constituée de séries de flyschs créacés et paléogènes (BENDER, 1983). A l'avant de ce chevauchement les séries néogènes et quaternaires du bassin sont déformées par des plis d'axes Nord-Sud parallèles à la direction de mouvement (fig. 5). L'existence de tels plis en conditions tectoniques superficielles implique (MASCLE *et alii*, 1986) l'existence vraisemblable d'une zone de découplage profonde, située à l'interface entre le socle indien et la

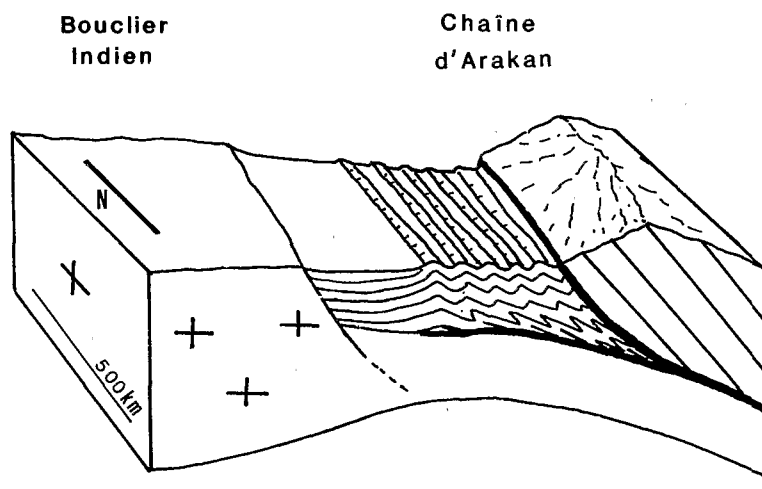


Fig. 6 - Schéma de la structure d'Arakan-Chin. La couverture néogène de la dépression du Bengale (bouches du Gange Brahmapoutre) est plissée en plis d'axes nord-sud; or les mouvements du bloc indien d'une part, du bloc d'Andaman de l'autre sont respectivement dirigés vers le NNE et le NNW. Les plis d'axes N-S résultent vraisemblablement du refus de subduction des sédiments néogènes peu denses coincés entre deux blocs, ceci implique un découplage à la base de la pile sédimentaire.

Sketch of the Arakan Chin structure. In Bengal the neogene sedimentary cover shows N-S trending folds, despite the NNE directed motion of the Indian Shield and the NNW directed motion of Arakan block. The folds may result from a subduction refusal due to the high buoyancy of the sediments, inducing a detachment structure below the sedimentary infilling.

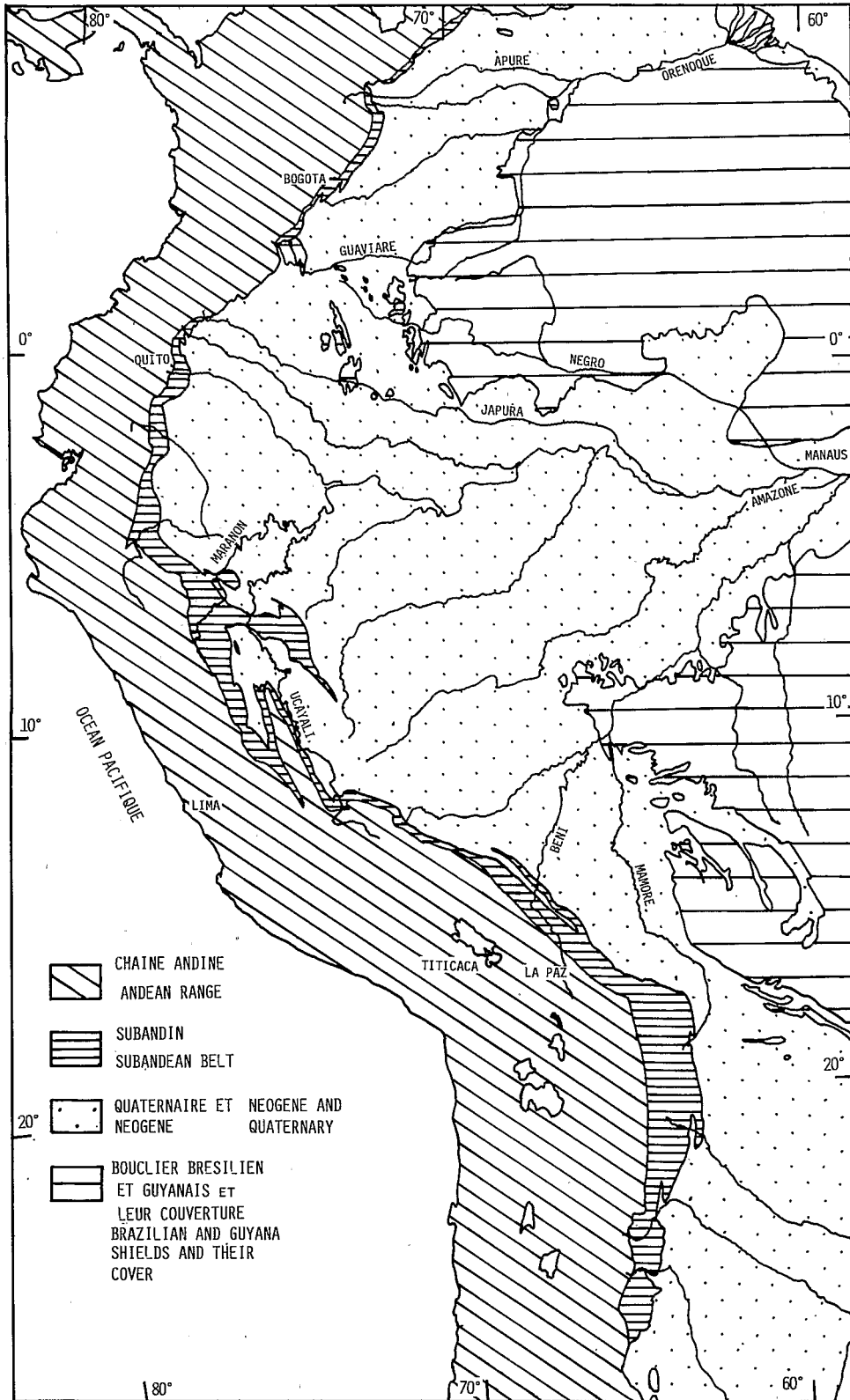


Fig. 7 - Le bassin d'avant-chaîne amazonien. *The Amazonian foreland basin.*

couverture sédimentaire (fig. 6). La vitesse d'épaississement sédimentaire atteint 800m/Ma.

Ce bassin est ici en situation de collision oblique commençante, ou de transsubduction, il est installé sur une croûte amincie appartenant à une ancienne marge.

2.4. LE BASSIN SUBANDIN

Ce bassin se développe à l'Est de la chaîne andine tout au long de celle-ci (fig. 7), sur une longueur de plus de 4000 km et sur une largeur de près de 300 km. L'orientation varie de NNE-SSW en Colombie et Equateur (Andes septentrionales), à NW-SE ou WNW-ESE au Pérou et en Bolivie (Andes centrales), pour passer à N-S en Bolivie méridionale et en Argentine (Andes méridionales). Tout au long de ce système s'observe le chevauchement de la chaîne andine sur un bassin sédimentaire (AHLFELD, 1972) néogène et quaternaire installé sur le bouclier brésilien (MOLNAR, 1986; LAUBACHER *et alii*, 1986). La bordure interne du système montre une zone, large parfois d'une centaine de Km, où les séries néogènes participent aux structures (zone des plis subandins).

La sismicité indique que le chevauchement de la chaîne sur le bouclier brésilien se poursuit actuellement avec une direction de raccourcissement générale proche d'Est-Ouest (LYON-CAEN & MOLNAR, 1986). Le remplissage sédimentaire du bassin est assuré par du matériel provenant de l'érosion de la chaîne andine; la vitesse d'épaississement sédimentaire est élevée et croissante pour atteindre 600/Ma au Pliocène et au Quaternaire. Au niveau des Andes centrales, la structure d'ensemble est très proche de celle du front himalayen; elle montre en effet une série de chevauchements successifs reliés par des rampes latérales orientées E-W et délimitant à l'arrière de larges bassins (30 km) dans la situation des Duns himalayens (fig. 8).

Ce bassin est donc installé sur une croûte continentale ancienne, d'épaisseur normale, qui fléchit sous le poids de la chaîne andine. Il s'agit donc d'un bassin induit par la subduction andine. Le raccourcissement est évalué à près de 100 km (LYON-CAEN & MOLNAR, 1986).

2.5. LE BASSIN SICILIEN

Ce bassin a fait l'objet de très nombreux

études de détail (AMODIO-MORELLI *et alii*, 1977; BROQUET *et alii*, 1966, 1984; CAIRE, 1969-75; CHANNEL *et alii*, 1979; D'ARGENIO *et alii*, 1980; GHISSETTI & VEZZANI, 1981, 1982; GRANDJACQUET & MASCLE, 1978; GRASSO *et alii*, 1978; OGNIBEN, 1960-78) dont nous tenterons ici d'extraire les grandes lignes. Il représente une petite partie d'un élément plus vaste maghrébin et apennin. Il est fonctionnel depuis la fin de l'Eocène, soit 37 Ma. Il est installé sur une ancienne marge comme en témoignent les séries de son substratum (D'ARGENIO & ALVAREZ, 1980) qui apparaissent dans les unités tectoniques constituant sa bordure interne; il s'est donc mis en place sur une croûte amincie. Son remplissage sédimentaire est marin, sauf durant une partie de l'épisode de dessèchement messinien, épisode dont l'origine n'est pas liée directement à l'évolution du bassin d'avant-chaîne bien que celui-ci en enregistre les effets.

Le remplissage sédimentaire a pour origine la chaîne située vers l'intérieur; en raison de la constitution lithologique assez particulière de celle-ci, qui comporte énormément de formations plastiques (flyschs et argiles), la tectonique gravitaire et la resédimentation (olistostromes) représentent une part importante de ce remplissage.

Les macro- et microstructures suggèrent que la direction de transport a changé au cours du temps, depuis une direction N-S au Miocène, jusqu'à NW-SE au Quaternaire devenant ainsi presque parallèle à l'allongement du bassin. Un dispositif symétrique caractérise actuellement le bassin bradanique (ORTOLANI, 1978; PESCATORE & SENATORE, 1980) orienté NW-SE, parallèlement à la direction de raccourcissement régionale.

L'évolution de ces bassins est contrôlée par l'ouverture de la mer Tyrrhénienne (SCANDONE, 1979; KASTENS, MASCLE *et alii*, 1986; SARTORI *et alii*, 1986) depuis le Messinien; celle-ci s'effectue suivant une direction NW-SE.

En Sicile la superficie du bassin diminue avec le temps; au Serravallien le bassin couvre en effet toute la Sicile du Nord, et il est vraisemblable qu'à cette époque il ne représente que le prolongement du bassin Nord-Africain; au cours du Pliocène seul le bassin de Caltanissetta est encore le siège d'une subsidence importante; au Quaternaire celle-ci n'intéresse plus que la partie sud-orientale de ce dernier (bassin de Gela).

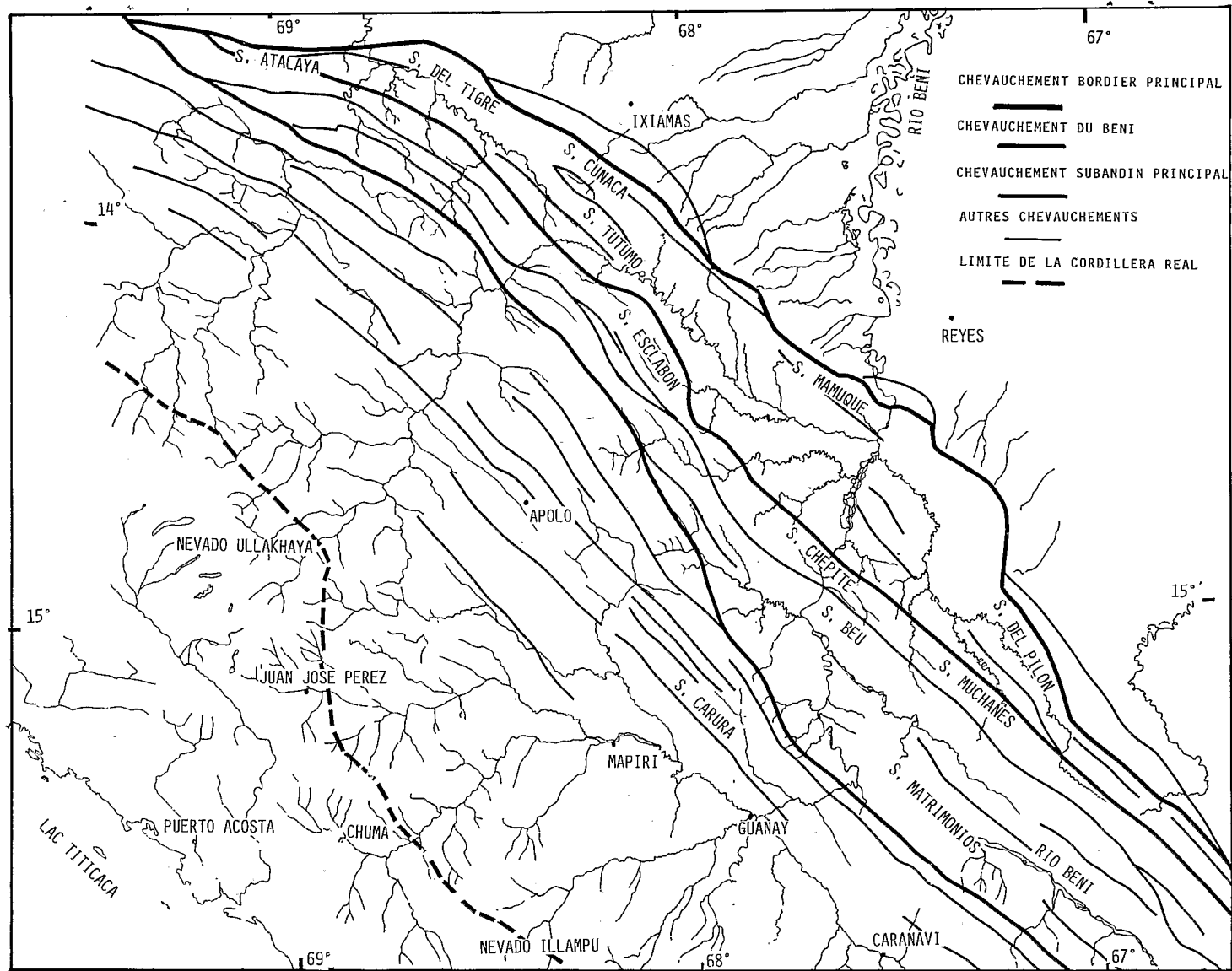


Fig. 8 - Le front Andin en Bolivie septentrionale. *The Andean front in Northern Bolivia.*

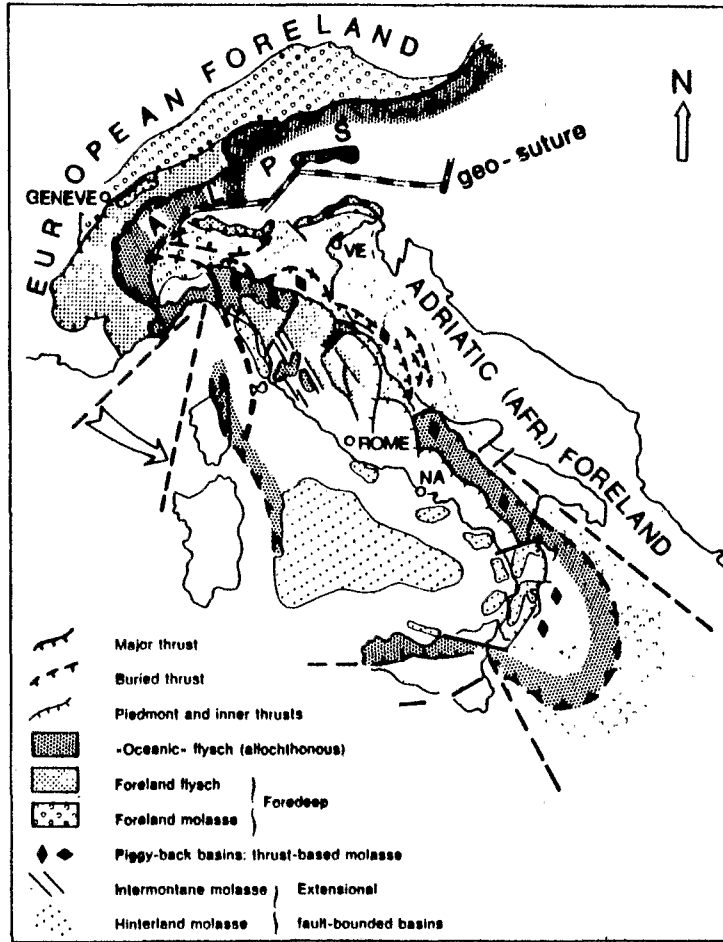


Fig. 9.- Bassins d'avant-chaîne des Alpes et de l'Apennin (d'après RICCI LUCCHI & ORI, 1984).
Foreland basins of the Alps and the Apennines (after RICCI LUCCHI & ORI, 1984).

3. PARAMETRES REGISSANT L'EVOLUTION DES BASSINS D'AVANT-CHAÎNE

L'épaisseur de la croûte ne parait pas avoir d'effet sensible sur la capacité de fléchir de la lithosphère; on observe en effet aussi bien des bassins sur croûte normale que sur croûte amincie. Il est cependant vraisemblable que le fléchissement de la lithosphère d'une marge ne soit que la conséquence de la fin de la subduction (fléchissement par entrainement); dans ces conditions l'apparition d'un bassin d'avant-chaîne sur croûte amincie est la suite logique du phénomène de collision. Au contraire le fléchissement d'une lithosphère comportant une croûte normale demanderait l'intervention

d'un facteur externe, comme la surcharge représentée par une chaîne élevée ou intensément raccourcie.

Par contre l'épaisseur de la croûte du substratum du bassin contrôle directement l'ambiance de sédimentation. Les bassins sur croûte amincie sont des bassins marins durant la plus grande partie de leur histoire, alors que les bassins sur croûte normale sont presque entièrement continentaux sauf parfois aux tous premiers stades de leur évolution.

L'orientation générale du bassin par rapport à la direction de transport, ou de raccourcissement, est un facteur important qui conditionne la structure d'ensemble du bassin. Les bassins orthogonaux au transport

TABLE 1

BASSIN D'AVANT CHAINE	GANGE SIWALIKS	AMAZONE SUBANDIN	BAS INDUS PAKISTAN	BENGALE	SICILE CALABRE
Substratum Nature	Croûte continentale précambrienne	Croûte continentale précambrienne + couverture sédimentaire plate forme ep. normale	Croûte continentale	Croûte continentale	Croûte Continentale
Epaisseur	ep. normale		amincie réépaissie	amincie	amincie
Héritage	0	0	Ancienne Marge passive transformante	Ancienne Marge passive	Ancienne Marge passive
Sédimentation milieu	Détritique, Marine puis fluviatile	Détritique fluviatile	Détritique marine puis fluviatile	Détritique marine puis fluviatile	Détritique et gravitaire, Marine
Evolution	Progradation vers l'extérieur	Progradation vers l'extérieur	Progradation longitudinale	Progradation longitudinale	Progradation vers l'extérieur
Origine	Interne Himalaya (plaque supérieure)	Interne Andes (plaque supérieure)	Interne latérale Himalaya (plaque supérieure)	Interne latérale Himalaya (plaque supérieure)	Interne Domaine orogénique (plaque supérieure)
Vitesse	Forte, croissante 100/800 m/Ma	Forte, croissante 50 600 m/Ma	Forte, oscillante 50 500 m/Ma	Forte, oscillante 100 800 m/Ma	Forte, perturbée par coulées gravitaires nx 100 m/Ma
Deformation	Compression synsédimentaire	Compression synsédimentaire	Transpression synsédimentaire	Compression oblique synsédimentaire	Compression puis transpression synsédimentaire
Direction de convergence	Frontale, orthogonale au bassin	Frontale, à faiblement oblique au bassin	Latérale, parallèle au bassin	Latérale, parallèle au bassin	Frontale puis latérale
Environnement géodynamique	Cisaillage crustal en collision entretenue	Cisaillage crustal induit par la subduction pacifique	Transcollision	Transubduction	Collision avec échappement latéral
Age	35 20 0 Ma	45 20 0 Ma	45 0 Ma	55 0 m/Ma	43 6 Ma 6 0 Ma

présentent en général une structure «cylindrique» homogène sur de grandes distances malgré des irrégularités de détail, explicables soit par des déviations locales des contraintes, soit le plus souvent par une histoire polyphasée. Les bassins d'allongement fortement oblique ou parallèle à la direction de transport montrent en fait une succession de bassins se relayant à la fois dans le temps et dans l'espace. Fréquemment les bassins de ce type sont installés sur des croûtes amincies.

Le présence de linéaments anciens est susceptible d'influer sur le style ou la direction des structures; ainsi l'arc de Suleiman paraît induit par la présence d'une fracture E-W dans le bouclier indien au Rajasthan; de même la direction des fractures de la marge indienne au Bengale paraît imposer la direction d'axe des plis de la couverture sédimentaire.

Enfin le remplissage sédimentaire du bassin est le reflet plus ou moins direct de l'arrière-pays nourricier, donc de ses constituants et des conditions de son érosion. Les constituants peuvent se classer en trois grands groupes: arc magmatique (Andes), an-

cienn prisme d'accrétion (nappes de flyschs de Sicile) ou orogène recyclé (Himalaya). Toutefois, lorsque allongement du bassin et direction de transport sont presque parallèles, le remplissage sédimentaire du bassin ne présente pas de rapports directs avec les reliefs les plus proches; cela est particulièrement évident dans le cas des bassins du Bengale et du Bas-Indus.

Manoscritto consegnato il 7 settembre 1987.

Testo accettato per la stampa il 19 gennaio 1988.

Ultime bozze restituite il 30 aprile 1989.

BIBLIOGRAPHIE

- ACHARYYA S.K. (1975) - *Tectonic framework of sedimentation of the Gondwana of the Eastern Himalaya, India*. In: Int. Unione Geol. Sci., Comm. Gondwana Symp. (Cambera, 1973), 663-674.
- ACHARYYA S.K. (1977b) - *Stratigraphy and tectonic features of the Eastern Himalaya*. In: SAKLANI P.S. (ed.): *Tectonic Geology of the Himalaya*, 243-268, Today and Tomorrow's Pub.
- AHLFELD F. (1972) - *Geologia de Bolivia*. Los Amigos del libro Ed., La Paz, 190 p.

- ALLEN P.A., HOMEWOOD P. & WILLIAMS G.D. (1986) - *Foreland basins: an introduction*. Spec. Publ. Ass. Sedim., **8**, 3-12.
- AMODIO MORELLI L., BONARDI G., COLONNA V., DIETRICH D., GIUNTA G., IPPOLITO F., LIGUORI V., LORENZONI S., PAGLIONICO A., PERRONE V., PICARETTA G., RUSSO M., SCANDONE P., ZANETTIN LORENZONI E. & ZUPPETTA A. (1977) - *L'Arco Calabro-Peloritano nell'Orogene Appenninico-Maghrebide*. Mem. Soc. Geol. It., **17**, 1-70.
- BENDER F. (1983) - *Geology of Burma*. Borntraeger, Berlin, 293 p.
- BROQUET P., CAIRE A. & MASCLE G. (1966) - *Structure de la Sicile occidentale (Madonies et Sicani)*. Bull. Soc. Géol. France (7), **9**, 104-110.
- BROQUET P., DUEE G., MASCLE G. & TRUILLET R. (1984) - *Evolution structurale récente de la Sicilie et sa signification géodynamique*. Rev. Géogr. Phys. et Géol. dyn (2), **35**, 75-85.
- BURBANK D.W., RAYNOLDS R.G. & JOHNSON G.D. (1986) - *Late cenozoic tectonics and sedimentation in the north-western Himalayan foredeep*. Spec. Publ. Int. Ass. Sedim, **8**, 293-306.
- CAIRE A. (1969) - *Chaînes alpines de la méditerranée centrale (Algérie et Tunisie septentrionale, Sicile, Calabre et Apennin méridional)*. Tectonique de l'Afrique. U.N.E.S.C.O., Sc. de la Terre, **6**, 61-90.
- CAIRE A. (1970) - *Sicily in its Mediterranean setting*. Geology and History of Sicily, Petrol. Expl. Soc. Libya, p. 145-170.
- CAIRE A. (1970) - *Tectonique de la Méditerranée centrale*. Ann. Soc. Géol. Nord, **XC**, **4**, 307-346.
- CAIRE A. (1973) - *Les liaisons alpines précoces entre Afrique du Nord et Sicile, et la place de la Tunisie dans l'arc tyrrhénien*. Livre Jub. M. Solignac. Ann. mines et Géol. Tunis, **26**, 87-110.
- CAIRE A. (1975) - *Discontinuités structurales et paléogéographiques dans l'arc tyrrhénien*. In: Tectonic Problems of the Alpine System, Veda. Publ. House Slovak Ac. Sc. Bratislava, 175-187.
- CAIRE A. (1975) - *Italy in its Mediterranean Setting*. In: «Geology of Italy». Earth Sc. Soc. Libyan Arab Republic., Tripoli, 1975, 11-74.
- CAIRE A. (1975) - *The central Mediterranean chains in their relationship with their Alpine orogenic environment*. In: «The oceans basins and margins», vol. **4B**, Plenum Publ. comp. 1978. Ed. A.E.M. Nairn et W.H. Kanes, 201-256.
- CHANNELL J.E.T., D'ARGENIO B. & HORVATH F. (1979) - *Adria, the African promontory in Mesozoic Mediterranean Palaeogeography*. Earth Sc. Rev., **15**, 213-292.
- CROSS T.A. (1986) - *Controls of foreland basin subsidence*. Spec. Publ. int. Ass. Sedim., **8**, 15-39.
- D'ARGENIO B. & ALVAREZ W. (1980) - *Stratigraphic evidence for crustal thickness changes on the southern Tethyan margin during the Alpine cycle*. Geol. Soc. Am. Bull., **91**, 681-689.
- D'ARGENIO B., HORVATH F. & CHANNELL J.E.T. (1980) - *Paleotectonic evolution of Adria, the African promontory*. In: AUBOUIN J. et alii, eds. Geology of Alpine chains born of the Thethys. Mem. BRGM, **115**, 331-351.
- DELCAILLAU B. (1986) - *Dynamique et évolution morphostructurale du piémont frontal de l'Himalaya: les Siwaliks du Népal oriental*. Rev. Géol. Dyn. et Géogr. Phys. (2), 319-337.
- GANSSER A. (1964) - *Geology of the Himalaya*. Wiley, New York, 289 p.
- GHISETTI F. (1979) - *Relazioni tra strutture e fasi trascorrenti e distensive lungo i sistemi Messina-Fiumefreggio, Tindari-Letojanni e Alia-Malvagna (Sicilia nord-orientale): uno studio microtettonico*. Geol. Romana, **18**, 23-58.
- GHISETTI F. & VEZZANI L. (1981) - *The structural features of the Iblean plateau of the mount Judica area (South-Eastern Sicily): a microtectonic contribution to the deformational history of the Calabrian Arc*. Boll. Soc. Geol. It., **99**, 57-102.
- GHISETTI F. & VEZZANI L. (1982) - *Il ruolo della zone di taglio M. Kumeta-Alcantara nell'evoluzione strutturale dell'arco calabro: implicazioni e problemi*. In: Guida alla geologia della Sicilia occidentale. Guide geologiche regionali della SGI, Palermo 1982.
- GRANDJACQUET C. & MASCLE G. (1978) - *The structure of the Ionian sea, Sicily and Calabria-Lucania*. In: The Oceans basing and margins, vol. **4B**, A.E.M. Nairn, W.H. Kanes et F.G. Stheli, Plenum Oub. Co N. York, p. 257-329.
- GRASSO M., LENTINI F., LOMBARDO G. & SCAMARDA G. (1980) - *Distribuzione delle facies Cretaceo-Mioceniche lungo l'allineamento Augusta M. Lauro (Sicilia sud-orientale)*. Boll. Soc. Geol. It., **98**, 175-188.
- GRASSO M., LENTINI F. & VEZZANI L. (1978) - *Lineamenti stratigrafico-strutturali delle Madonie (Sicilia centro-settentrionale)*. Geol. Romana, **17**, 45-69.
- HERAIL G. & MASCLE G. (1980) - *Les Siwaliks du Népal central: structure et géomorphologie d'un piémont en cours de déformation*. Bull. Assoc. Geogr. Franc., **471**, 259-267.
- HERAIL G., MASCLE G. & DELCAILLAU E. (1986) - *Les Siwaliks de l'Himalaya du Népal: un exemple d'évolution d'un prisme d'accrétion intracontinental*. Sciences de la Terre, Mem., **47**, 155-182.
- IBRAHIM SHAH S.M. (1977) - *Stratigraphy of a Pakistan*. Mem. geol. Surv. Pakistan, **12**, 138 p.
- JOHNSON G.D., JOHNSON N.M., OPDYKE N.D. & TAHIRKELI R.A.K. (1979) - *Magnetic reversal stratigraphy and sedimentary tectonic history of the Upper Siwalik Group, Eastern Salt Range and Southwestern Kashmir*. In: Farah A.G. et De Jong K. (eds.): Geodynamics of Pakistan. Pakistan Geol. Surv., 149-165.
- JOHNSON G.D., OPDYKE N.D., JOHNSON G.D., LINDSAY E.H. & TAHIRKELI A.K. (1982) - *Magnetic polarity stratigraphy and ages of Siwalik Group rocks of the Potwar Plateau, Pakistan*. Palaeoecol., **37**, 17-42.
- KASTENS K. & MASCLE J. et alii (1987) - *Initial Reports of the Ocean Drilling Programm, leg 107. Part A (sites 650-656)*, College Station. Texas.
- LAUBACHER G., HERAIL G. & FORNARI M. (1986) - *Un chevauchement de la Cordillère orientale des Andes*

- centrales sur l'avant-pays amazonien dès l'Eocène? Séminaire Géodynamique ORSTOM, p. 84-85.
- LETOUZEY J. & TREMOLIERES P. (1980) - *Paleostress fields around the Mediterranean since the mesozoic derived from microtectonics: comparisons with plate tectonic data*. In: Géologie des chaînes alpines issues de la Tethys., coll. C5, XXVI^e Congr. Géol. Intern., 261-273.
- LYON-CAEN H. & MOLNAR P. (1983) - *Constraints on the structure of the Himalaya from an analysis of gravity anomalies and a flexural model of the lithosphere*. J. Geophys. Res., **88**, 8171-91.
- LYON-CAEN H., MOLNAR P. & SAUREZ G. (1986) - *Gravity anomalies and flexure of the Brazilian shield beneath the Bolivian Andes*. Séminaire géodynamique ORSTOM, p. 83.
- MASCLE G. (1985) - *L'Himalaya résulte-t-il du télescopage de trois chaînes*. Bull. Soc. Géol. France (8), **1**, 289-304.
- MASCLE G. & HERAIL G. (1982) - *Les Siwaliks; le prisme d'accrétion tectonique associé à la subduction intracontinentale himalayenne*. Géol. Alpine, **58**, 95-103.
- MASCLE G., HERAIL G., VAN HAVER Th. & DELCAILLAU B. (1986) - *Structure et évolution des bassins d'épousiture et de péricluse liés à la chaîne himalayenne*. Bull. Centre Rech., Pau, **10**, 181-203.
- MASCLE G. & MASCLE J. (1983-84) - *Accretion and tectono-sedimentary progradation: the Taranto Gulf (Southern Italy)*. Geo-Marine Letters, **3**, 9-12.
- MOLNAR P. (1986) - *The structure of mountain ranges*. Scient. Amer., **254**, 70-79.
- MOLNAR P. & TAPPONNIER P. (1975) - *Cenozoic tectonics of Asia: effects of a continental collision*. Science, **189**, 419-26.
- NI J. & BARAZANGI M. (1984) - *Seismotectonics of the Himalayan collision zone: geometry of the underthrusting Indian plate beneath the Himalaya*. J. Geophys. Res., **89**, 1132-46.
- OGNIBEN L. (1960) - *Nota illustrativa della schema geologico della Sicilia nord-orientale*. Riv. Min. Sic., **11** (64-65), 183-212, Palermo.
- OGNIBEN L. (1969) - *Schema introduttivo alla geologia del confine calabro-lucano*. Mem. Soc. Geol. It., **8**, 453-463.
- OGNIBEN L. (1973) - *Schema geologico della Calabria in base ai dati odierni*. Geol. Romana, **12**, 243-585.
- ORTOLANI F. (1978) - *Alcune considerazioni sulle fasi tettoniche mioceniche e plioceniche dell'Appennino meridionale*. Boll. Soc. Geol. It., **97**, 1-8.
- PESCATORE T. & SENATORE M.R. (1986) - *A comparison between a present-day (Taranto Gulf) and a Miocene (Irpinian basin) foredeep of the Southern Apennines (Italy)*. Spec. Publ. Int. Ass. Sedim., **8**, 169-182.
- RAMACHANDRA ROA M.B. (1973) - *The subsurface geology of the Indo-Gangetic plains*. J. Geol. Soc. India, **14**, 217-242.
- RICCI LUCCHI F. & ORI G.G. (1984) - *Orogenic clastic wedges of the Alps and the Apennines*. Am. Ass. Petr. Geol. Bull., **68**, 798.
- RICCI LUCCHI F. (1986) - *Foreland basins of the northern Apennines*. Spec. Pub. int. Ass. Sedim., **8**, 105-139.
- SAHNI M.R. & MATHUR L.P. - *Stratigraphy of the Siwaliks group*. Int. Geol. Congr., 22nd Sess. (New Dehli), 23 p.
- SASTRI V.V., BHANDARI L.L., RAJU A.T.R. & DATTA A.K. (1971) - *Tectonic framework and subsurface stratigraphy of the Ganga Basin*. J. Geol. Soc. India, **12**, 222-233.
- SCANDONE P. (1979) - *Origin of the Tyrrhenian sea and Calabrian Arc*. Boll. Soc. Geol. It., **11**, 98, 27-34.
- SEEBER L., ARMBRUSTER J. & QUITTMAYER R.C. (1981) - *Seismicity and continental subduction in the Himalayan arc*. In: Zagros, Hindu-Kush, Himalaya, Geodynamic Evolution, Geodyn. Ser. 3, 215-42. Am. Geophys. Union.
- STOCKLIN J. (1980) - *Geology of Nepal and its regional frame*. J. Geol. Soc. (London), **137**, 1-34.
- TANDON S.K., KUMAR R., PARAMJIT SINGH (1984) - *Syntectonic controls of palaeoflow reversals and variability: sediment-vector sequences in the late orogenic fluvial Siwalik basin*. Punjab Sud-Himalaya. India sed. Geol., **41**, 97-112.
- VALDIYA K.S. (1980) - *The two intracrustal boundary thrusts of the Himalaya*. Tectonophysics, **66**, 323-48.
- VALDIYA K.S. (1981) - *Tectonics of the central sector of the Himalaya*. In: Zagros, Hindu-Kush, Himalaya. Geodynamic Evolution. Geodyn. Ser. **8**, 87-110. Am. Geophys. Union.